

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(РОСПАТЕНТ)

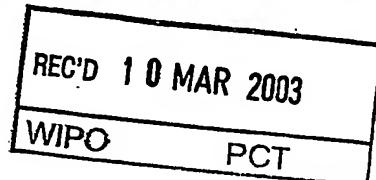
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995
Телефон 240 60 15. Телекс 114818 ПДЧ. Факс 243 33 37

Наш № 20/12-56

KUO2/561

Rec'd PCT/PTO 22 DEC 2004



«12» февраля 2003 г.

С П Р А В К А

Федеральный институт промышленной собственности (далее – Институт) настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы, реферата и чертежей (если имеются) заявки № 2002118838 на выдачу патента на изобретение, поданной в Институт в июле месяце 12 дня 2002 года (12.07.2002).

Название изобретения:

Устройство для защиты волоконных линий от разрушения под действием лазерного излучения

Заявитель:

Научный центр волоконной оптики при институте общей физики Российской Академии Наук

Действительные авторы:

ДИАНОВ Евгений Михайлович
БУФЕТОВ Игорь Алексеевич
ФРОЛОВ Артем Алексеевич

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Заведующий отделом 20

А.Л.Журавлев

2002118838



Устройство для защиты волоконных линий от разрушения под
действием лазерного излучения

Настоящее изобретение относится к области лазерной техники и волоконной оптики и промышленно применимо в системах волоконно-оптической связи, в лазерно-волоконных устройствах для обработки материалов, а также в медицине и других областях, где используется передача по волоконным световодам оптического излучения мощностью порядка одного ватта и выше.

В настоящее время происходит процесс резкого увеличения скорости передачи информации в системах волоконно-оптической связи.

Увеличение скорости передачи информации по волоконным световодам делает необходимым передачу большого количества отдельных каналов по одному световоду, используя метод спектрального уплотнения каналов (в иностранной литературе данный метод обозначается как WDM-wavelength division multiplexing). Кроме того, становится необходимым применение оптических усилителей в волоконных линиях связи.

Возрастание числа передаваемых каналов по одному световоду, применение оптических усилителей (как эрбиевых волоконных усилителей с высокой выходной мощностью, так и рамановских волоконных усилителей), введение в световод излучения накачки оптических усилителей уже сейчас приводит к возрастанию сред-

ней мощности оптического излучения в световоде до уровня порядка одного ватта.

При таких уровнях мощности может иметь место явление разрушения волоконных световодов под действием оптического излучения. В зарубежной технической литературе данное явление в световодах на основе кварцевого стекла (а именно такие световоды составляют основу современных волоконных линий связи) обозначается как «catastrophic damage» (катастрофическое разрушение) или «fuse effect» (эффект плавления, эффект бикфордова шнура). Действительно, разрушение световода под действием лазерного излучения напоминает горение огнепроводного шнура.

В рамках настоящего описания мы будем ссылаться на это явление как на распространение дозвуковой (т.е. распространяющейся с дозвуковой скоростью) волны оптического разряда по световоду, что отражает физическую природу происходящих процессов, или, для краткости, как на распространение волны оптического разряда.

Впервые сообщение о разрушении одномодовых световодов под действием оптического излучения было опубликовано в 1987 г. (см. Raman Kashyap, Self-propelled self-focusing damage in optical fibers, Proc. Conf. Lasers' 87, Lake Tahoe, Nevada, Dec. 7-11, 1987, pp. 859-866-{Самодвижущееся разрушение в оптических волоконных световодах возникающее как результат самофокусировки}).

В данной работе фактически было продемонстрировано, что если по световоду распространяется лазерное излучение мощностью порядка 1 ватта, то возможно возникновение волны оптического разряда, см. Фиг. 1, где под поз.1 обозначен световод, под поз.2-область свечения плазмы в волне оптического разряда, стрелка поз.3 показывает направление ввода лазерного излучения в световод, и стрелка поз.4 показывает направление движения волны оптического разряда по световоду. Хотя авторы данной работы трактовали это явление иначе. Внешне это выглядит как движение области яркого белого или голубоватого свечения (в виде маленькой «звездочки») по сердцевине световода, которое распространяется навстречу лазерному излучению со скоростью порядка 1 м/с. Область яркого свечения представляет собой область низкотемпературной плазмы. Температура «звездочки» оценивалась по спектру ее свечения (см. D.P.Hand, P.St.J.Russel, Solitary thermal shock waves and optical damage in optical fibers :the fiber fuse. Optics Letters, Vol.13, №9, pp.767-769, 1988-{Солитонные тепловые ударные волны и оптические повреждения в оптических волоконных световодах: эффект волоконного бикфордова (огнепроводного) шнура}) и оказалась порядка 5400°К.

Но этот процесс не возникает спонтанно при введении в световод указанной выше мощности. Для инициирования процесса необходимо при наличии в световоде излучения мощностью порядка ватта создать в этом световоде область повышенного поглощения

лазерного излучения, например, путем нагрева участка световода до $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ (в электрической дуге или с помощью горелки), нанесения на торец световода поглощающего лазерное излучение вещества, изгиба световода с достаточно малым радиусом. В частности, процесс распространения волны оптического разряда может быть инициирован при прикосновении выходного торца световода (торца, из которого выходит лазерное излучение) к поглощающей свет поверхности (в том числе к металлической).

Фактически при инициировании процесса в сердцевине световода образуется плотная плазма, которая, с одной стороны поглощает излучение, распространяющееся по световоду, а с другой стороны, за счет теплопроводности передает окружающим холодным слоям материала тепловую энергию. Нагреваемые таким образом области сердцевины, находящиеся в поле лазерного излучения, начинают в свою очередь поглощать излучение. В этом и заключается механизм распространения оптического разряда по сердцевине световода, который аналогичен механизму распространения фронта медленного химического горения в газах и твердых телах (Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. «Гидродинамика», Москва, Наука, 1986, гл.XIV, §128 Медленное горение, стр. 662-670). Здесь слово «медленный» означает «распространяющийся с дозвуковой скоростью».

После распространения волны разряда в сердцевине световода в большинстве случаев образуются полости (или пузыри) размерами порядка нескольких микрон, причем полости могут формировать

периодическую структуру вдоль сердцевины световода (см. Фиг. 2.). Формирование таких полостей полностью нарушает световедущие свойства волоконного световода.

Известен способ защиты волоконных линий связи от полного разрушения при возникновении волны оптического разряда в световоде (см. D.P.Hand, T.A.Birks «Single-mode tapers as 'fibre fuse' damage circuit-breakers»— {Одномодовые фоконы как сетевые предохранители от повреждений (световодов) из-за эффекта волоконного бикфордова шнура}— Electronics Letters, vol.25, No.1, pp.33–34, 1989).

Способ заключается в создании и использовании своеобразных предохранителей от распространения волны оптического разряда по волоконным световодам. Известно, что процесс разрушения световода под действием излучения существенно зависит от интенсивности лазерного излучения в световоде. Для снижения интенсивности лазерного излучения хотя бы на некотором участке волоконной линии связи авторы предложили вводить в волоконную линию отрезок световода с перетяжкой, см. Фиг. 3, где поз.5 обозначена область перетяжки световода, поз.6-отражающая оболочка световода, преимущественно кварцевая, заштрихована на фиг.3, под поз.7 обозначена сердцевина световода, под поз.8-пунктирная линия, показывающая границы поля моды лазерного излучения в световоде и его изменение с изменением диаметра сердцевины, под поз.9 обозначена осевая линия световода. Как можно видеть из фиг.3 отрезок световода с перетяжкой является

отрезком световода на некотором участке которого диаметр поперечного сечения световода имеет меньшую величину, причем пропорционально уменьшены и все другие размеры, описывающие структуру поперечного сечения световода, например, диаметр сердцевины световода. Перетяжку на Фиг. 3 можно рассматривать как совокупность двух последовательно соединенных фоконов. При прохождении света через область перетяжки изменяется (увеличивается) диаметр поля моды в световоде, что приводит к снижению интенсивности излучения и, при благоприятных обстоятельствах, к остановке процесса распространения оптического разряда. (Под диаметром поля моды (часто обозначаемую как MFD-mode field diameter) в световоде мы подразумеваем обычно используемую в волоконной оптике величину, характеризующую поперечный размер пространственной области, занятой полем излучения в одномодовом световоде, как она определяется, например, в книге G. Keiser. Optical Fiber Communications. (Third edition) McGraw Hill, pp. 63-64, 2000 and references in it).

Как можно видеть на графике Фиг.5, где представлена зависимость, полученная экспериментально, путем измерения зависимости минимально необходимой мощности лазерного излучения в сердцевине световода для поддержания распространения волны оптического разряда для световодов различных типов: для германнатных (т.е. сердцевина которых содержит в основном SiO_2 и GeO_2) и фосфорного световода (т.е. сердцевина которого содержит в основном SiO_2 и P_2O_5). Цифры у экспериментальных точек указы-

вают тип световода: 1-фосфоросиликатный световод, 2-7 - германосиликатные световоды. При увеличении диаметра поля моды в световоде пороговое значение мощности для поддержания распространения оптического разряда возрастает. На этом основано действие nearest-аналога.

В результате повреждается не вся волоконная линия, а только отрезок между точкой инициирования и точкой остановки волны разряда. Подчеркнем, что данный метод, реализованный в устройстве, применим только для одномодовых световодов, так как только в таких световодах снижается интенсивность излучения при включении в линию перетяжки. Таким образом, с помощью описанного метода осуществляется остановка нежелательных процессов, и защищается от разрушения та часть линии связи, которая лежит между указанным отрезком волокна и источником лазерного излучения.

Основными недостатками данного устройства для защиты волоконных линий связи являются:

- а) в предложенном устройстве имеет место изменение параметров сердцевины световода, что может привести к дополнительным потерям и искажению полезного сигнала, например из-за частичного его отражения
- б) при увеличении мощности интенсивность излучения в сердцевине световода возрастает, в том числе и в области перетяжки, что приведет к прохождению волны оптического разряда через

область перетяжки без остановки. Таким образом, при увеличении мощности излучения устройство теряет свою эффективность.

К недостаткам данного устройства также относится техноло-гическая сложность его изготовления, заключающаяся в необходи-мости плавления световода и прецизионного его растяжения.

В рамках указанного описания авторы вводят ряд определе-ний, касающихся параметров оптического волокна для однозначно-го понимания существа заявленного технического решения. Авторы вводят понятие параметра d поперечного сечения световода. Определим этот параметр d поперечного сечения рассматриваемого отрезка световода как диаметр оболочки из плавленого кварца световода в рассматриваемом сечении, если световод обладает цилиндрической симметрией относительно оси, и определим пара-метр d как удвоенное минимальное расстояние от геометрического центра сечения сердцевины световода до границы кварцевой об-олочки, если форма световода не обладает цилиндрической симмет-рией (в случае цилиндрического световода определение этого параметра совпадает с определением d , данным выше как диаметра оболочки световода).

В соответствии с вышеизложенным, задачей настоящего изо-бретения является обеспечение устройства для защиты волоконных линий от разрушения волной оптического разряда, распространяю-щегося по световоду под действием лазерного излучения, которое при увеличении мощности лазерного излучения в световоде сохра-

няло бы свою эффективность, не внося при этом дополнительных оптических потерь в волоконную линию связи.

Указанный результат достигается за счет обеспечения устройства для защиты волоконной линии от разрушения под действием лазерного излучения, содержащего отрезок волоконного световода, сердцевина которого имеет неизменный диаметр по всей длине указанного отрезка, а оболочка отрезка волоконного световода, по меньшей мере, на одном участке длиной $L \geq 10 \cdot D$ указанного отрезка световода имеет параметр поперечного сечения, находящийся в диапазоне $D < d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D – диаметр поля моды.

При этом оболочка световода выполнена из стекла на основе плавленого кварца.

Кроме того, указанный отрезок световода сформирован непосредственно в защищаемой волоконной линии.

При этом, указанный отрезок волоконного световода дополнительно вводится в состав защищаемой волоконной линии, например, с помощью сварки или соединений с помощью оптических разъемов.

Кроме того, указанный отрезок волоконного световода может быть выполнен цилиндрическим, сердцевина которого имеет неизменный диаметр по всей длине указанного отрезка, а диаметр оболочки отрезка волоконного световода, по меньшей мере, на одном участке длиной $L \geq 10 \cdot D$ указанного отрезка световода

находится в диапазоне $D < d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D – диаметр поля моды.

При этом указанный отрезок световода цилиндрической формы может быть сформирован непосредственно в защищаемой волоконной линии, и может дополнительно вводится в состав защищаемой волоконной линии, например, с помощью сварки или соединений с помощью оптических разъемов.

В указанном устройстве реализуется совершенно другой физический механизм остановки распространения волны оптического разряда, а именно за счет снижения коэффициента поглощения лазерного излучения в плазме оптического разряда, распространяющегося по сердцевине световода, при снижении плотности этой плазмы.

Авторами было обнаружено явление деформации и даже полного разрушения кварцевой оболочки волоконного световода под действием механического и теплового воздействия плазмы оптического разряда, распространяющегося по световоду под действием лазерного излучения.

При нагреве вещества сердцевины в волне оптического разряда до $\sim 5000\text{K}$ при сохранении неизменным объеме вещества давление в области плазмы достигает $\sim 10^4$ атм.

На поверхности кварцевой оболочки стандартного световода диаметром 125 мкм температура повышается лишь на 200÷300 К после прохождения оптического разряда по сердцевине. Поверхность световода при этом находится при давлении 1 атм. Но, как

известно из экспериментов, механическая прочность световодов на основе кварцевого стекла достаточно высока и не допускает разрушения оболочки световода при таких условиях, что в свою очередь создает условия для распространения волны оптического разряда по световоду.

Если же на некотором участке световода удалить часть кварцевой оболочки (например, путем локального уменьшения ее диаметра), так чтобы оставшаяся ее часть прогревалась плазмой волны оптического разряда до температуры, при которой под действием избыточного давления, создаваемого плазмой, стала возможна деформация (расширение, даже вплоть до полного механического разрушения) оболочки световода, приводящая к снижению плотности плазмы и, как следствие, к уменьшению поглощения в ней лазерного излучения и соответствующему снижению энерговыделения, то распространение волны оптического разряда прекратится.

Причем чем выше мощность лазерного излучения, тем выше давление и температура в плазме оптического разряда и тем быстрее произойдет разрушение световода с остановкой волны оптического разряда. Таким образом, при повышении мощности лазерного излучения надежность предлагаемого устройства только возрастает (в отличие от наиближайшего аналога). При уменьшении диаметра кварцевой оболочки сердцевина световода не изменяется, что обеспечивает малое возмущение параметров волноводного канала, опять же в отличие от наиближайшего аналога.

Размеры участка световода с уменьшенным диаметром оболочки из кварцевого стекла задаются из условия необходимой чувствительности устройства и максимально допустимой величины вносимых искажений в волноводные свойства световода.

Авторами были выполнены несколько серий экспериментов для определения возможности остановки распространения волны разряда по световоду. Эксперименты проводились следующим образом. Участок световода со стандартным диаметром оболочки из кварцевого стекла 125 мкм подвергался травлению в растворе плавиковой кислоты. В результате травления диаметр оболочки уменьшался, причем его конечное значение регулировалось временем травления. После этого в световод с одной стороны вводилось излучение непрерывного волоконного лазера волн различной мощности. У другого конца световода инициировалась волна оптического разряда, которая распространялась по световоду навстречу лазерному излучению и проходила через участок с травленой кварцевой оболочкой. В различных экспериментах использовались световоды с различными параметрами сердцевины, с различными значениями диаметра кварцевой оболочки в области травления и волоконные лазеры с различными длинами волн излучения (из ряда 1.06, 1.24 и 1.48 мкм). В каждом эксперименте волна оптического разряда или проходила через участок с уменьшенным диаметром внешней оболочки, или процесс распространения прерывался (см. Фиг. 8 и Фиг. 9). На фиг. 8 представлена фотография сработавшего устройства для защиты волоконных линий связи, реализующего

описанный способ, где под поз.11 обозначены пузыри или пустоты, образующиеся в области сердцевины световода после прохождения волны оптического разряда. Здесь они имеют форму, отличную от наблюданной на Фиг.2. Под поз.12 обозначена область разрушения кварцевой оболочки световода под действием давления плазмы в волне медленного оптического разряда. Масштаб указанной фотографии следующий: высота Фиг.8 соответствует 65 мкм, ширина - 250 мкм. Лазерное излучение распространялось слева направо.

На фиг.9 изображена фотография устройства для защиты волоконных световодов в оптических линиях связи от разрушения под действием лазерного излучения согласно изобретению, где под позицией а - вид устройства до возбуждения волны оптического разряда в световоде, под позицией б - вид устройства после срабатывания - после остановки волны оптического разряда. Область остановки обведена кружком. Световод при срабатывании не разрушился, в отличие от представленного на Фиг.8. Масштаб изображения на фиг.9 позиция а и б: каждое деление шкалы на фиг.9, позиция б, соответствует 0.1 мм, на фиг.9, позиция с - увеличенное изображение области, приблизительно обозначенной окружностью на фиг.9, позиции б. Масштаб: полная ширина кадра соответствует 1 мм. Лазерное излучение распространялось справа налево.

Несмотря на большое количество параметров, изменяющихся от опыта к опыту (концентрации различных примесей в сердцевине,

диаметр сердцевины, разность показателей преломления между сердцевиной и оболочкой, длина волны излучения, диаметр оболочки световода в области травления, мощность излучения, введенного в световод) полученные результаты показали, что процесс остановки волны оптического разряда определяется диаметром поля моды излучения в световоде и диаметром оболочки световода в той области, где он уменьшен с помощью травления.

А именно, выполненные авторами эксперименты показали, что остановка волны оптического разряда при ее распространении по световоду с уменьшенным диаметром оболочки (определим этот диаметр как параметр d поперечного сечения рассматриваемого отрезка световода) происходит в том случае, если параметр d оболочки световода не превышает наименьшей из величин ($4 \cdot D$) и (40 мкм), т.е. если $d \leq \min(4 \cdot D, 40$ мкм), где D - диаметр поля моды в одномодовом волоконном световоде, по которому распространяется лазерное излучение (до уменьшения размеров оболочки). (В уровне техники по волоконной оптике данная величина часто обозначается как MFD-mode field diameter). С другой стороны, для ограничения различного рода искажений, которые может вносить такое сужение в канал передачи излучения, наименьшее значение параметра d должно быть больше D (см. Фиг. 4).

Кроме того, те же эксперименты показывают (см., напр., Фиг. 9), что для остановки процесса распространения волны оптического разряда необходимо, чтобы длина участка световода

Л с уменьшенным значением параметра d была не менее $10 \cdot D$, то есть $L \geq 10 \cdot D$.

Для остановки волны оптического разряда можно использовать и другие формы поперечного сечения (отличные от круговой) световода с уменьшенными размерами оболочки. В таком случае параметр d определим как удвоенное минимальное расстояние от геометрического центра сечения сердцевины световода до границы кварцевой оболочки (в случае цилиндрического световода определение этого параметра совпадает с определением d , данным выше как диаметра оболочки световода в области сужения). Но поскольку изготовление аксиально-симметричных (или почти аксиально-симметричных) волоконных элементов значительно проще по технологии, то в качестве примеров рассматриваются только такие конструкции.

Таким образом, предлагаемое устройство для защиты волоконных световодов от разрушения волной оптического разряда представляет собой отрезок волоконного световода, на некотором участке которого длиной L уменьшен параметр d световода до величин, указанных на Фиг. 4 как заштрихованная область. При этом сердцевина световода остается практически неизмененной, а вносимые изменения в волноводные свойства волоконного световода минимальными.

В итоге защита волоконной линии достигается тем, что в ней размещают, по меньшей мере, один отрезок световода с измененной формой поперечного сечения, или изменяют форму

поперечного сечения некоторого участка световода в защищаемой линии таким образом, чтобы

- а) диаметр сердцевины световода оставался неизмененным, и
- б) параметр d световода в области измененного поперечного сечения составлял $d \leq \min(4 \cdot D, 40 \text{ мкм})$ при длине такой области $L \geq 10D$.

Изобретение поясняется на примере предпочтительного варианта его осуществления со ссылками на сопроводительные чертежи, при этом одинаковые элементы на фигурах обозначены одними и теми же позициями. На чертежах представлено следующее:

На фиг. 1 - представлена схема распространения волны оптического разряда по световоду согласно известному уровню техники.

На фиг. 2 - представлена фотография периодической структуры пузырей в сердцевине световода (световод LEAF, Corning), образованной под действием излучения Nd:YAG лазера с длиной волны 1.06 мкм и мощностью 4.2 Вт. Излучение распространялось слева направо. Масштаб :каждое деление шкалы - 10 мкм.

На фиг. 3 - Схема, иллюстрирующая реализацию способа защиты световода от разрушения под действием лазерного излучения согласно известному уровню техники.

На фиг. 4. - представлены графики, иллюстрирующие значения диаметра оболочки d из стекла на основе плавленого кварца, которые обеспечивают функционирование защитных элементов со-

гласно изобретению в зависимости от диаметра поля моды световода (заштрихованная область).

На фиг. 5 – представлена зависимость, полученная экспериментально, путем измерения зависимости минимально необходимой мощности лазерного излучения в сердцевине световода для поддержания распространения волны оптического разряда для световодов различных типов: для германатных (т.е. сердцевина которых содержит в основном SiO_2 и GeO_2) и фосфорного световода.

На фиг. 6 – Схема, иллюстрирующая предлагаемое устройство для защиты световода от разрушения под действием лазерного излучения согласно настоящему изобретению.

На фиг. 7 – Поперечное сечение предлагаемого устройства по линии А–А (см. Фиг. 6).

На фиг. 8 – Фотография сработавшего устройства для защиты волоконных линий связи, реализующего предлагаемый способ. соответствует 65 мкм, ширина – 250 мкм. Лазерное излучение распространялось слева направо.

На фиг. 9 – фотография устройства для защиты волоконных световодов в оптических линиях связи от разрушения под действием лазерного излучения согласно изобретению, где под позицией а – представлен вид устройства до возбуждения волны оптического разряда в световоде, под позицией б – вид устройства после срабатывания – после остановки волны оптического разряда, на позиции с – представлено увеличенное изображение области, приблизительно обозначенной окружностью на Фиг. 9, позиции б.

При инициировании оптического разряда в световоде он движется навстречу лазерному излучению (см. Фиг.1), и при отсутствии препятствий на его пути разряд пройдет все расстояние по световоду до источника излучения. После прохождения оптического разряда оптическое волокно теряет свои волноводные свойства из-за нарушения структуры сердцевины световода (см. Фиг.2).

На фиг. 6 представлен возможный вариант схемы устройства для защиты световода от разрушения под действием лазерного излучения согласно настоящему изобретению. Устройство для защиты световода представляет собой отрезок световода согласно фиг.6, где позицией 7 обозначена сердцевина световода, позицией 6-оболочка световода, позицией 8 -пунктирные линии, показывающие положение поля моды в световоде. Расстояние между ними равно диаметру поля моды лазерного излучения в световоде (D). Под позицией 10 обозначается участок волоконного световода с уменьшенным диаметром отражающей оболочки. Сечение по линии А-А показано на Фиг.7.

Устройство включается, например, с помощью сварки, в состав защищаемой волоконной линии и функционирует следующим образом. При распространении волны оптического разряда по световоду, как описано выше, в области сердцевины поз.7 из-за высокой температуры возникают давления порядка 10^4 атмосфер. Эта величина близка к пределу разрушения материала световода, нагретого из-за теплопроводности и излучения из области плазмы до температур в несколько сот градусов, поэтому при достаточно

тонкой оболочке световода такое давление приводит к разрушению световода, падению давления в области сердцевины, резкому снижению плотности поглощающей лазерное излучение плазмы, соответствующему снижению поглощения излучения и, как следствие, остановке волны оптического разряда.

Таким образом, в волоконных линиях устанавливают, по меньшей мере, один отрезок световода с уменьшенной толщиной кварцевой оболочки поз.6, при этом совершенно не деформируя сердцевину поз.7 согласно фиг.6. Данная операция, с одной стороны, не вносит существенных искажений в канал распространения сигнала (сердцевина не деформируется), а с другой - способ изготавления таких устройств предохранения прост: можно простым химическим травлением уменьшить диаметр оболочки световода.

Реализованный вариант устройства для защиты волоконных световодов от разрушения под действием лазерного излучения представлен на фотографии Фиг.9. Устройство представляет собой отрезок волоконного световода с диаметром поля моды 8.9 мкм, внешний диаметр которого на некотором отрезке (в данном случае длиной около 1 мм) уменьшен путем травления этого отрезка в растворе кислоты HF. Лазерное излучение распространялось справа налево. На Фиг.9, позиция а показано устройство до момента срабатывания. Излучение мощностью до 5 Вт проходило по нему беспрепятственно. На Фиг.9 под позицией б представлен вид того же устройства после того, как вне его была инициирована волна оптического разряда, которая распространялась слева направо по

световоду. После того, как волна достигла точки световода с диаметром оболочки около 30 мкм, ее распространение прекратилось. Минимальный диаметр световода в устройстве на Фиг. 9 составлял 20 мкм.

Слева от точки остановки (на Фиг. 9, позиция *b*, обозначена кружком) наблюдается тот же характер разрушения световода, как и световода с нормальным диаметром кварцевой оболочки – периодическая последовательность пустот в сердцевине световода. Незадолго до точки остановки размеры пустот увеличиваются, и процесс распространения оптического разряда прекращается. Причем остановка распространения разряда сопровождается или расширением участка световода, как на Фиг. 9, позиции *b, c*, или разрушением световода в точке остановки (Фиг. 8).

Устройство для защиты волоконных световодов может быть также выполнено путем формирования отрезка световода с уменьшенным диаметром кварцевой оболочки непосредственно на световоде волоконной линии, защиту которой необходимо осуществить, а не на специальном отрезке световода, который затем вваривается в защищаемую волоконную линию. В этом случае отпадает необходимость проводить дополнительную сварку световодов, что приводит к дополнительным потерям излучения в линии, но подразумевает изготовление соответствующих сужений световодов фактически в полевых условиях, что имеет свои отрицательные стороны.

Для защиты протяженных телекоммуникационных линий необходимо располагать такие защитные устройства периодически вдоль линии, чтобы в случае непредвиденного возникновения волны оптического разряда в телекоммуникационной сети был выведен из строя только один промежуток.

Предлагаемое устройство может использоваться в телекоммуникационных линиях связи, а конкретнее для защиты световодов от разрушения под действием лазерного излучения. Кроме того, устройства согласно изобретения могут использоваться в процессах лазерной обработки материалов, в лазерной хирургии и других медицинских лазерных установках для защиты излучающего лазера.

Формула изобретения

1. Устройство для защиты волоконной линии от разрушения под действием лазерного излучения, содержащее отрезок волоконного световода, сердцевина которого имеет неизменный диаметр по всей длине указанного отрезка, а оболочка отрезка волоконного световода, по меньшей мере, на одном участке длиной $L \geq 10 \cdot D$ указанного отрезка световода имеет параметр d поперечного сечения, находящийся в диапазоне $D < d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D – диаметр поля моды.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что оболочка световода выполнена из стекла на основе плавленого кварца.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что указанный отрезок световода сформирован непосредственно в защищаемой волоконной линии.

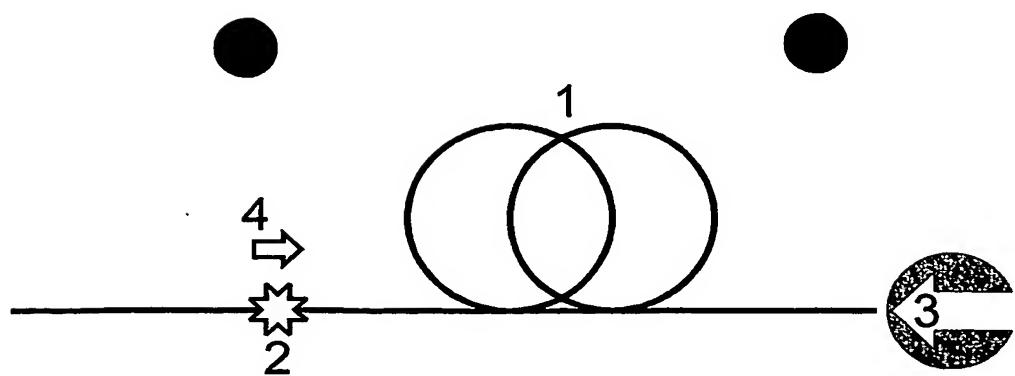
4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что указанный отрезок волоконного световода дополнительно вводится в состав защищаемой волоконной линии, например, с помощью сварки или соединений с помощью оптических разъемов.

5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что указанный отрезок волоконного световода выполнен цилиндрическим, сердцеви-

на которого имеет неизменный диаметр по всей длине указанного отрезка, а диаметр d оболочки отрезка волоконного световода, по меньшей мере, на одном участке длиной $L \geq 10 \cdot D$ указанного отрезка световода находится в диапазоне $D < d \leq \min(4D, 40 \text{ мкм})$, где D - диаметр поля моды.

6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что указанный отрезок световода сформирован непосредственно в защищаемой волоконной линии.

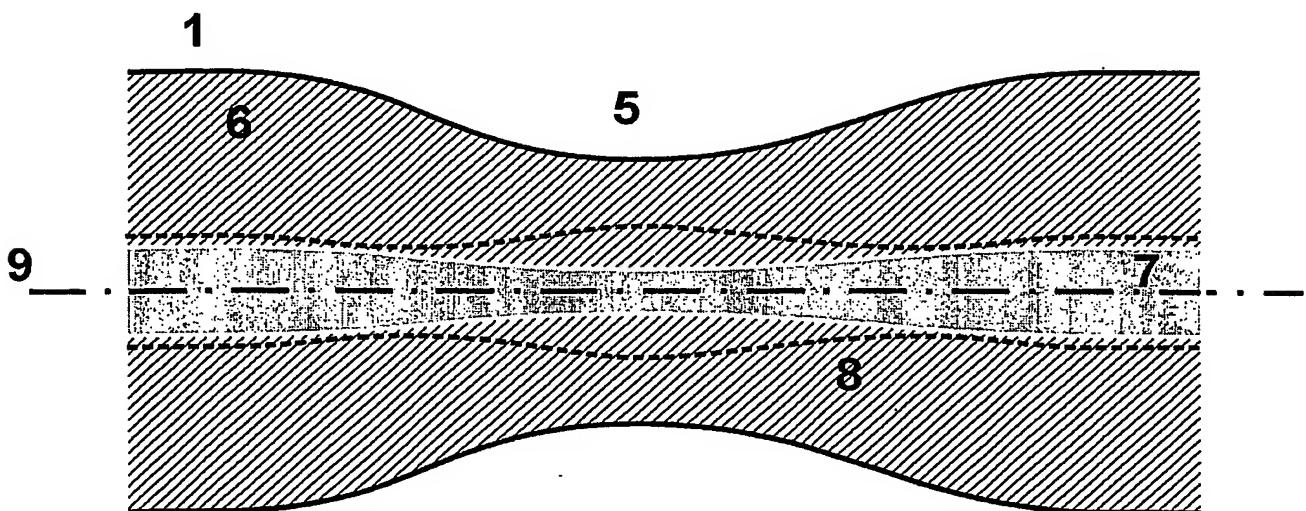
7. Устройство по п.5, отличающееся тем, что указанный отрезок волоконного световода дополнительно вводится в состав защищаемой волоконной линии, например, с помощью сварки или соединений с помощью оптических разъемов.



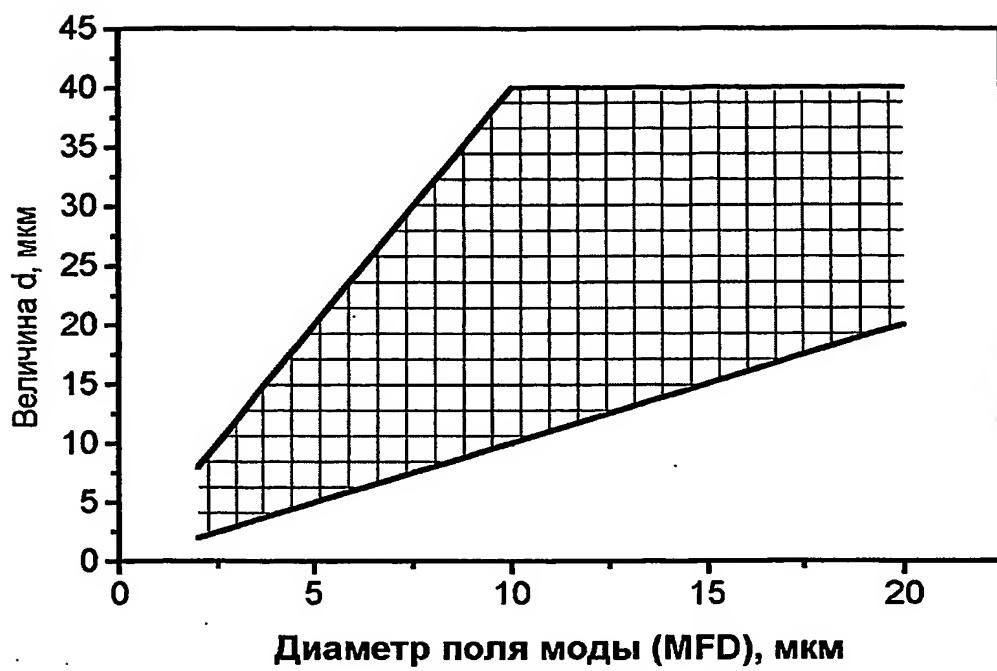
Фиг. 1.



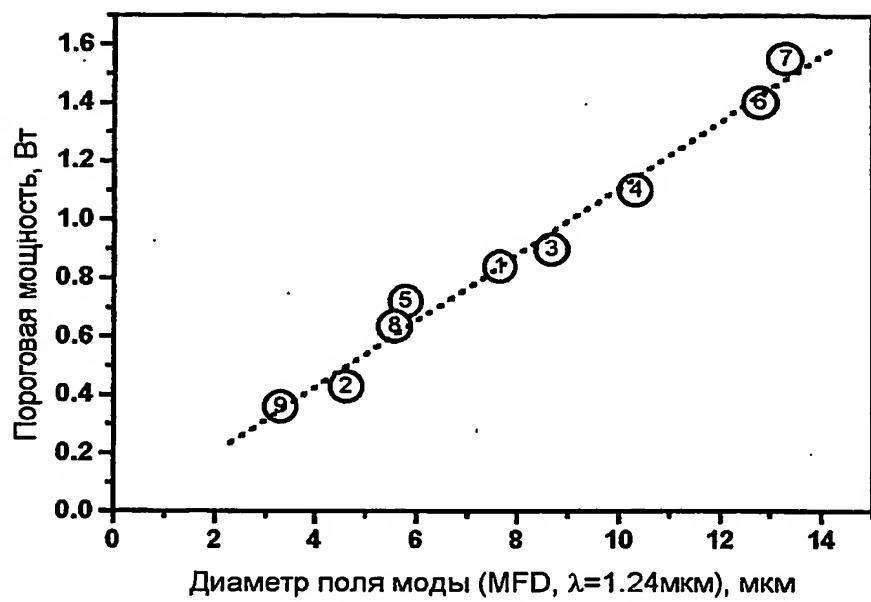
Фиг. 2.



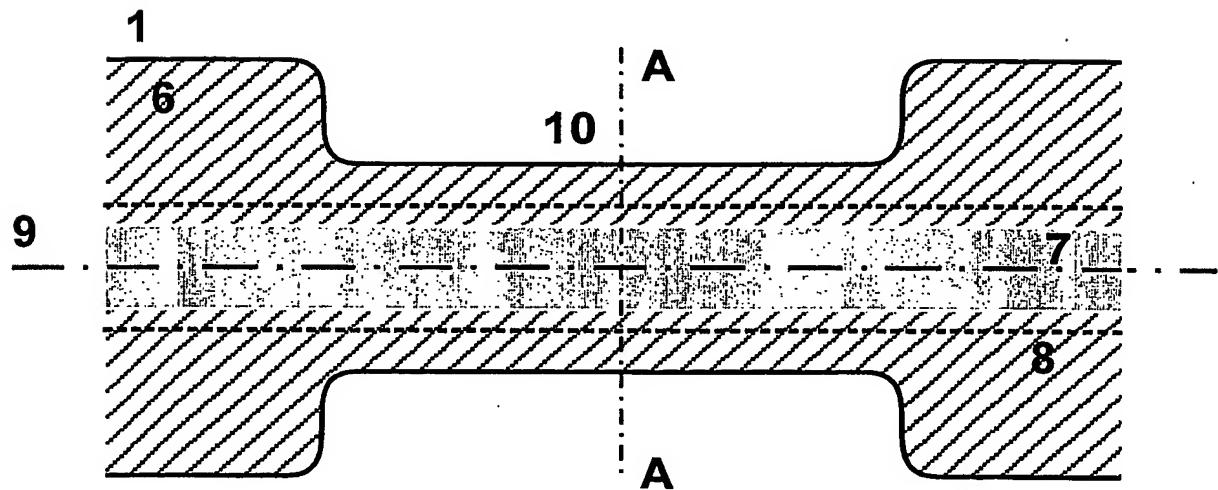
Фиг. 3.



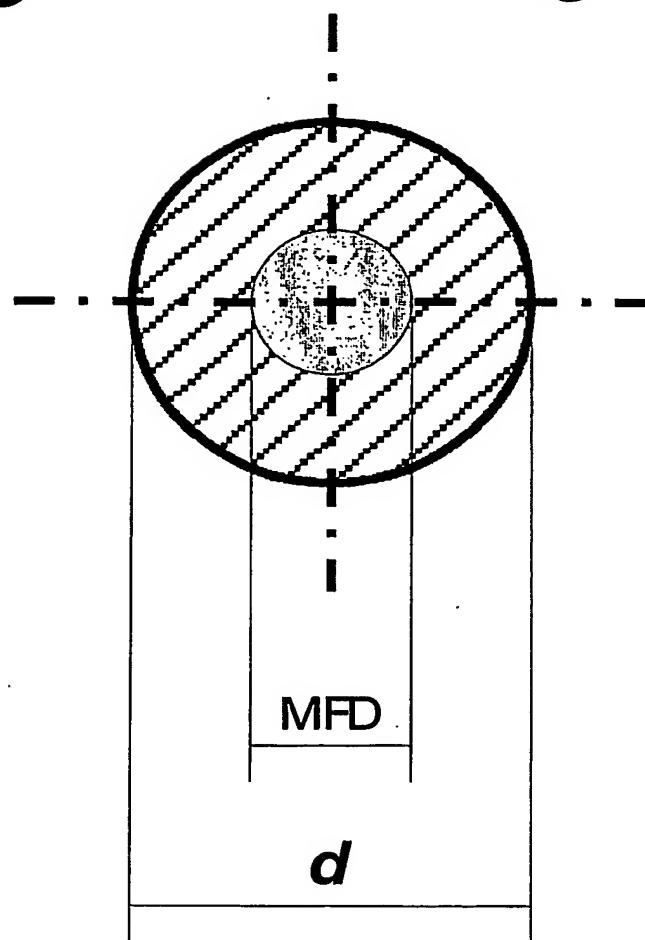
Фиг.4.



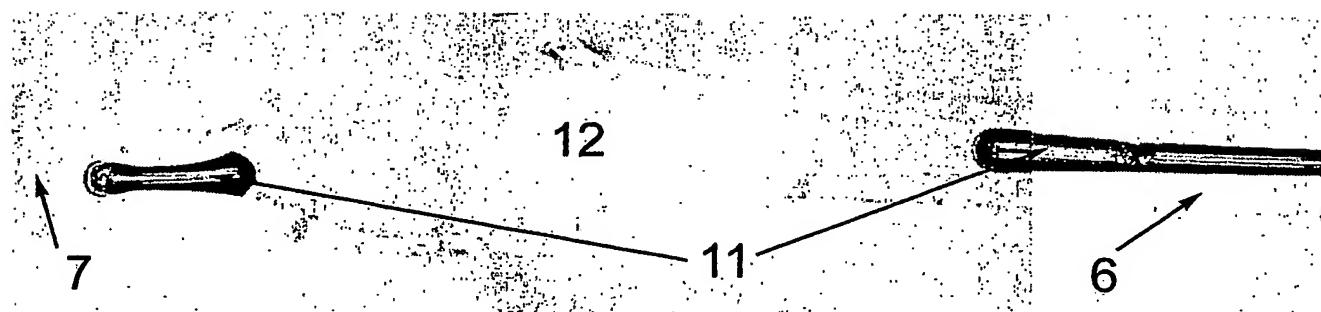
Фиг. 5.



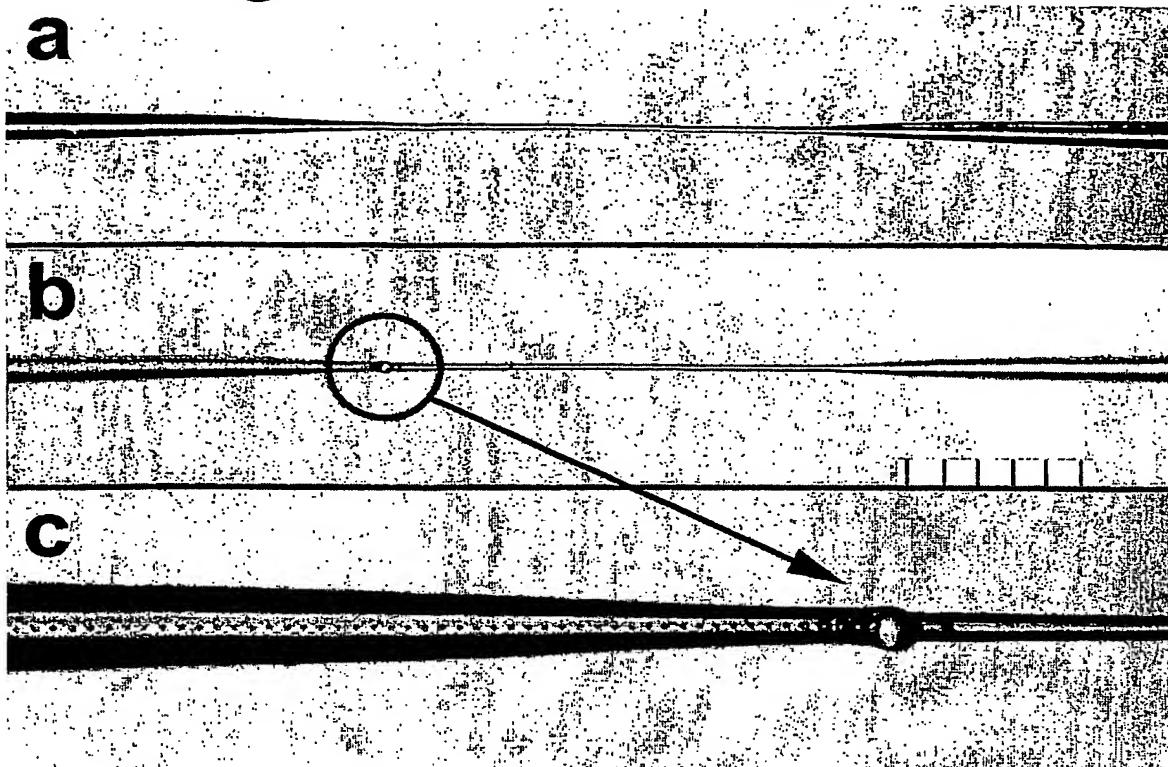
Фиг. 6.



Фиг. 7.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

Реферат

Изобретение относится к области лазерной техники и волоконной оптики. Устройство для защиты волоконной линии от разрушения под действием лазерного излучения представляет собой отрезок световода, согласно фиг.6, где, позицией 6 обозначена оболочка световода, позицией 7 обозначена сердцевина световода, позицией 8 обозначены пунктирные линии, показывающие положение поля моды в световоде. Расстояние между ними равно диаметру поля моды лазерного излучения в световоде (D). Под позицией 10 обозначается участок волоконного световода с уменьшенным диаметром отражающей оболочки. Устройство функционирует следующим образом, при распространении волны оптического разряда по световоду, в области сердцевины поз.7 из-за высокой температуры возникают давления порядка 10^4 атмосфер. Эта величина близка к пределу разрушения материала световода и остановке волны оптического разряда, таким образом, в волоконных линиях устанавливают, по меньшей мере, один отрезок световода с уменьшенной толщиной кварцевой оболочки, при этом совершенно не деформируя сердцевину поз.7.